

ΑΦΙΕΡΩΜΑ

Με αφορμή τους πρόσφατους καταστροφικούς σεισμούς
στην Κεφαλονιά

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΠΕΡΙΣΦΙΞΗΣ

Ι. Μπαϊκούσης Πτυχιούχος Πολιτικός Μηχανικός ΤΕ - ΜSc

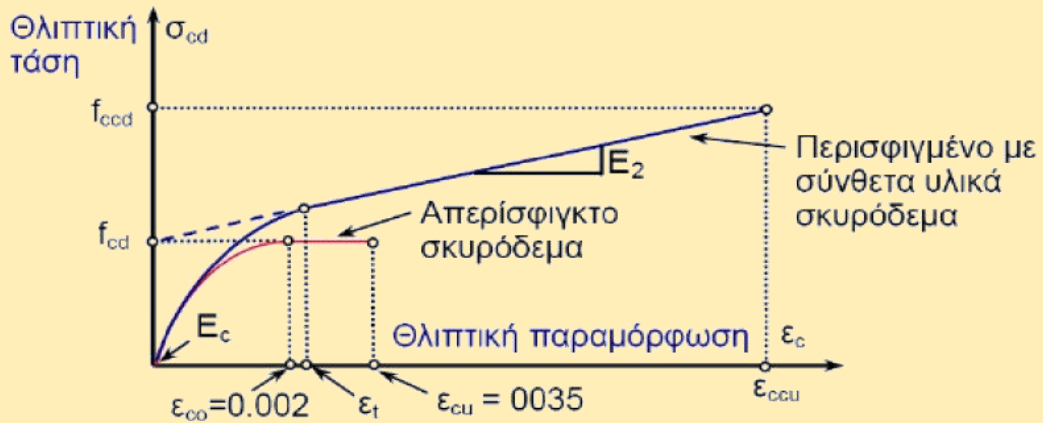
Συνέχεια από το 4ο Τεύχος



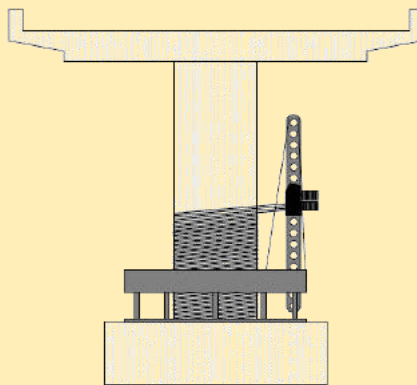
Ληξούρι Κεφαλονιάς 3 Φεβρουαρίου 2014

Θραύση υποστυλώματος σε καθαρή διάτμηση. Το υποστύλωμα λειτούργησε ως κοντό, στην περιοχή του μικρού παραθύρου κατά τη διάρκεια του σεισμού, με απουσία συνδετήρων (χωρίς περίσφιξη) και ιδού τα αποτελέσματα.

e-ΔΟΚΟΣ τεύχος 30/5e



Καμπύλες τάσης - παραμόρφωσης για απερίσφιγτο και περισφιγμένο με σύνθετα υλικά σκυρόδεμα (Α. Τριανταφύλλου, 2006).



Αυτοματοποιημένη περιτύλιξη προεμπτισμένων νημάτων.
(Τριανταφύλλου Α. 2006)



Συσκευή ρομπότ αυτοματοποιημένης περιτύλιξης προεμπτισμένων νημάτων.

Εισαγωγικά

Στο προηγούμενο τεύχος, αφού υπολογίσαμε την διαθέσιμη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων, μ_ϕ του υποστυλώματος **K1 35/35**, προχωρήσαμε σε τρεις επιλύσεις περίσφιξης του ίδιου υποστυλώματος με ΙΟΠ άνθρακα, και με στρογγυλοποιήσεις των ακμών του υποστυλώματος $b_p = d_p = r = 30\text{ mm}$, 40 mm και 50 mm εφαρμόζοντας τις ημιεμπειρικές σχέσεις του καθηγητή Αθαν. Τριανταφύλλου. Οι επιλύσεις έγιναν για να πετύχουμε συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς $q=3$. Με παράγοντα υπεραντοχής της κατασκευής $q_v=1,2$.

Είδαμε ότι για να το πετύχουμε θα πρέπει η πλαστιμότητα του υποστυλώματος, σε όρους καμπυλοτήτων να είναι $\mu_\phi=9$.

- Κρίνουμε σκόπιμο να συνεχίσουμε τις ίδιες επιλύσεις και με ένα ορθογωνικό υποστυλώμα **K2 40/30** που έχει σχεδόν ίση διατομή (1200 cm²) με το **K1 35/35** (1225 cm²) και αξονική δύναμη $N_d = -580\text{ KN}$ έναντι $N_d = -588\text{ KN}$ του **K1**, ώστε να έχουμε την ίδια καταπόνηση της διατομής σε θλίψη, προκειμένου να δούμε τη συμπεριφορά του ορθογωνικού υποστυλώματος έναντι του τετραγωνικού. Όλα τα υπόλοιπα δεδομένα (οπλισμοί σκυρόδεμα παραμορφώσεις υλικών κ.λπ.) παραμένουν ίδια με το **K1**, όπως περιγράφονται στο προηγούμενο τεύχος.

- Θα συνεχίσουμε την επίλυση των ίδιων υποστυλωμάτων με σχέσεις του **ΚΑΝ.ΕΠΕ**. προκειμένου να συγκρίνουμε τις δυο μεθόδους.

- Επίσης θα προβούμε σε υπολογισμούς αύξησης της διατμητικής αντοχής του **K1** υποστυλώματος, με μανδύα ΙΟΠ συγκριτικά έναντι πυκνών συνδετήρων **Φ8/10 S400**.

- Το ίδιο θα κάνουμε και για την αύξηση της θλιπτικής αντοχής του υποστυλώματος.

Υποστύλωμα K2 40/30

Δεδομένα για το υποστύλωμα K2:

Ορθογωνικό υποστύλωμα ύψους	$L = h_{καθ} = 3,0m$
Διατομή:	$h = d_c = 400mm, b = b_c = 300mm$
Διαμήκης οπλισμός Φ_L	4Φ20
Συνδετήρες Φ_h	Φ8/25
Επικάλυψη οπλισμού	$c = 20 mm$

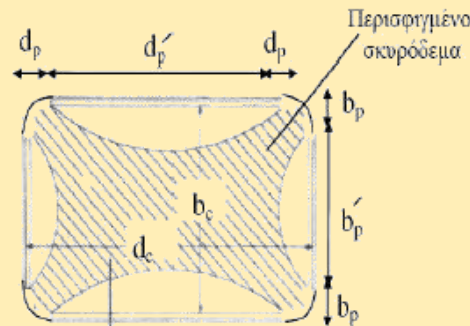
Δεδομένα για το σκυρόδεμα:

Χαρακτηριστική αντοχή	$f_{ck} = 14 MPa$
Μέση αντοχή	$f_{cm} = 17 MPa$
Παραμόρφωση ακραίας ίνας	$\varepsilon_{co} = 0,002$
Οριακή παραμόρφωση	$\varepsilon_{cu} = 0,0035$

Δεδομένα για τον οπλισμό:

Διαμήκης	S400
μέση τιμή διαρροής	$f_{ym} = 440 MPa$
Συνδετήρες	S220
Μέτρο ελαστικότητας	$E = 200 GPa$
Αξονική δύναμη:	$N_d = -580 KN$

Περίσφιγξη με επικολλητά υφάσματα ΙΟΠ άνθρακα.



Περίσφιγξη με ινοπλισμένα πολυμερή

Επίλυση με ημιεμπειρικές σχέσεις του καθηγητή Αθαν. Τριανταφύλλου 2000.

Ο υπολογισμός γίνεται για την ισχυρή διεύθυνση που είναι δυσμενέστερη και για $b_p = d_p = r = 30 \text{ mm}$ (στρογγυλοποίηση ακμών).

Χρησιμοποιούμε και εδώ το ίδιο σύνθετο υλικό ινών άνθρακα FRP Mega wrap - 200 (ύφασμα με ίνες άνθρακα σε μια διεύθυνση, με πάχος $t_{f0} = 0,11 \text{ mm}$) η εφελκυστική αντοχή $f_f = 3800 \text{ MPa}$ και το μέτρο ελαστικότητας $E_f = 235 \text{ GPa}$ παραμόρφωση θραύσης $\varepsilon_{fib} = 1,5\%$

Σύμφωνα με την παραπάνω εκλογή υλικού και για συντελεστή $\eta_e = 0,9$ θα έχουμε:

Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού μανδύα $f_{fd,e}$

$$f_{fd,e} = \eta_e \cdot f_f = 3.800 \cdot 0,9 \Rightarrow f_{fd,e} = 3.420 \text{ MPa}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{40}{30} = 1,33 < 2 \text{ άρα μπορεί να εφαρμοστεί μανδύας (ΙΟΠ)}$$

$$D = \frac{b^2}{2h} + \frac{h^2}{2b} = \frac{0,30^2}{2 \cdot 0,40} + \frac{0,40^2}{2 \cdot 0,30} \Rightarrow D = 0,379$$

$$\alpha = 0,4 + 1,2 \frac{r}{D} = 0,4 + 1,2 \frac{0,03}{0,379} \Rightarrow \alpha = 0,495 \cong 0,5$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2b_{x0}}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_{y0}}\right) \Rightarrow \alpha_s = 1 \quad (s=0 \text{ συνεχής μανδύας})$$

Συνολική αποδοτικότητα της περίσφιγξης α : $\alpha = 0,5\alpha_s \Rightarrow \alpha = 0,5$

$$f_r = 2\alpha \frac{t_f}{D} f_{fd,e} \approx \frac{t_f}{D} f_{fd,e} \quad (1)$$

$$(1) \Rightarrow f_r = \frac{t_f}{0,379} 3.420 \Rightarrow f_r = 9.023,75 \cdot t_f$$

$$f_c^* = f_c + 6 f_r^{0,7} = 14 + 6(9.023,75 \cdot t_f)^{0,7} \Rightarrow f_c^* = 14 + 3.523 \cdot t_f^{0,7} \text{ MPa}$$

$$E_2 = 245,61 f_c^{0,2} + 1,344 \frac{t_f}{D} E_f = 245,61 \cdot 14^{0,2} + 1,344 \frac{t_f}{0,379} 235.000 \Rightarrow$$

$$E_2 = 416,36 + 833.350,92 \cdot t_f \text{ MPa}$$

$$f_0 = 0,872 f_c + 0,371 f_r + 6,258 = 0,872 \cdot 14 + 0,371 \cdot 9.023,75 \cdot t_f + 6,258 \Rightarrow$$

$$f_0 = 18,466 + 3.347,8 \cdot t_f \text{ MPa}$$

$$\nu = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cm}} = \frac{580}{0,40 \cdot 0,30 \cdot 17 \cdot 10^3} \Rightarrow \nu = 0,284$$

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{ym}}{E_s} = \frac{440}{200 \cdot 10^3} \Rightarrow \varepsilon_{sy} = 0,0022$$

$$\mu_\phi = \frac{\varepsilon_{cu}^*}{2,2 \varepsilon_{sy} \cdot \nu} \Rightarrow \varepsilon_{cu}^* = 2,2 \mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy} \cdot \nu = 2,2 \cdot 9 \cdot 0,0022 \cdot 0,284 \Rightarrow \varepsilon_{cu}^* = 0,01237$$

$$\varepsilon_{cu}^* = \frac{f_c^* - f_0}{E_2} \Rightarrow 0,01237 = \frac{14 + 3.523 \cdot t_f^{0,7} - 18,466 - 3.347,8 t_f}{416,36 + 833.350,92 \cdot t_f} \Rightarrow$$

$$13.656,35 \cdot t_f - 3.523 \cdot t_f^{0,7} + 9,616 = 0$$

$$t_{f,1} = 0,00834 \text{ mm} = 8,34 \text{ mm} \text{ και } t_{f,2} = 0,000429 \text{ m} = 0,429 \text{ mm}$$

Η $t_{f,1}$ απορρίπτεται και γίνεται δεκτή η μικρότερη τιμή που είναι η $t_{f,2} = t_f$

$t_f = 0,429 \text{ mm} > 0,39 \text{ mm}$ που έδωσε η λύση του υποστυλώματος K1

35/35 για ίδια στρογγυλοποίηση, $r = 30 \text{ mm}$ των ακμών του.

$$= \frac{0,429 - 0,39}{0,39} = 0,10 \text{ ή } 10\% \text{ αύξηση του πάχους του μανδύα, όταν ο λόγος}$$

των πλευρών της διατομής του υποστυλώματος, από 1 έγινε 1,33. Μετά τη σπουδιότητα της αύξησης της στρογγυλοποίησης των ακμών, βλέπουμε και εδώ τη σπουδιότητα του λόγου, των πλευρών της διατομής του υποστυλώματος, όταν τείνει στο 1.

$$\text{Ο αριθμός των στρώσεων } \kappa = \frac{t_f}{t_{f0}} = \frac{0,429}{0,11} = 3,9 \text{ άρα απαιτούνται 4}$$

στρώσεις του συγκεκριμένου FRP άνθρακονημάτων.

Υπολογισμός του πάχους t_f , του υποστυλώματος K2 40/30, για $r = 40 \text{ mm}$

$$D = \frac{b^2}{2h} + \frac{h^2}{2b} \Rightarrow D = 0,379$$

$$\alpha_s = 1 \quad (s=0 \text{ συνεχής μανδύας})$$

$$\alpha = 0,4 + 1,2 \frac{r}{D} = 0,4 + 1,2 \frac{0,04}{0,379} \Rightarrow \alpha = 0,5266$$

$$f_{fd,e} = \eta_s \cdot f_r = 3.800 \cdot 0,9 \Rightarrow f_{rd,e} = 3.420 \text{ MPa}$$

$$(1) \Rightarrow f_r = 2 \cdot 0,5266 \frac{t_r}{0,379} 3.420 \Rightarrow f_r = 9.503,81 \cdot t_r$$

$$f_c^* = f_c + 6 f_r^{0,7} = 14 + 6(9.503,81 \cdot t_r)^{0,7} \Rightarrow f_c^* = 14 + 3.653,25 \cdot t_r^{0,7} \text{ MPa}$$

$$E_2 = 416,36 + 833.350,92 \cdot t_f \text{ MPa}$$

$$f_0 = 0,872 f_c + 0,371 f_r + 6,258 = 0,872 \cdot 14 + 0,371 \cdot 9.503,81 \cdot t_r + 6,258 \Rightarrow$$

$$f_0 = 18,466 + 3.525,91 \cdot t_r \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cu}^* = 0,01237$$

$$\varepsilon_{cu}^* = \frac{f_c^* - f_0}{E_2} \Rightarrow 0,01237 = \frac{14 + 3.653,25 \cdot t_r^{0,7} - 18,466 - 3.525,91 t_r}{416,36 + 833.350,92 \cdot t_r} \Rightarrow$$

$$13.834,46 \cdot t_r - 3.653,25 \cdot t_r^{0,7} + 9,616 = 0$$

$$t_r = 0,00039 \text{ m} = 0,39 \text{ mm}$$

$$\frac{0,429 - 0,39}{0,429} = 0,0909, \text{ 9\% μείωση του συνολικού πάχους του μανδύα.}$$

Παρατηρούμε ότι, στο ορθογωνικό υποστύλωμα, το ποσοστό μείωσης του πάχους του μανδύα μικραίνει (9 % έναντι 12%) συγκριτικά με αυτό του τετραγωνικού υποστυλώματος. Επίσης το πάχος του μανδύα είναι το ίδιο με το υποστύλωμα K1 35/35 αλλά για στρογγυλοποίηση $r = 30 \text{ mm}$ έναντι $r = 40 \text{ mm}$ για το K2. Είναι λοιπόν προφανής και η σπουδαιότητα της «κανονικότητας» του σχήματος της διατομής του υποστυλώματος, στην περίσφιξή του, με maximum απόδοσης, αυτό της τετραγωνικής διατομής από τις ορθογωνικές και της κυκλικής από τις καμπύλες και γενικότερα από όλες.

Ενδιαφέρον έχει να αυξήσουμε άλλο 1 cm την στρογγυλοποίηση, $r = 50 \text{ mm}$ και να δούμε και εδώ τα αποτελέσματα.

Υπολογισμός του πάχους t_f , του υποστυλώματος K2 40/30, για $r = 50 \text{ mm}$

$$D = \frac{b^2}{2h} + \frac{h^2}{2b} \Rightarrow D = 0,379$$

$$\alpha_s = 1 \quad (s=0 \text{ συνεχής μανδύας})$$

$$\alpha = 0,4 + 1,2 \frac{r}{D} = 0,4 + 1,2 \frac{0,05}{0,379} \Rightarrow \alpha = 0,5583$$

$$f_{fd,e} = \eta_s \cdot f_r = 3.800 \cdot 0,9 \Rightarrow f_{rd,e} = 3.420 \text{ MPa}$$

$$(1) \Rightarrow f_r = 2 \cdot 0,5583 \frac{t_f}{0,379} 3.420 \Rightarrow f_r = 10.075,92 \cdot t_f$$

$$f_c^* = f_c + 6 f_r^{0,7} = 14 + 6(10.075,92 \cdot t_f)^{0,7} \Rightarrow f_c^* = 14 + 3.805,8 \cdot t_f^{0,7} \text{ MPa}$$

$$E_2 = 416,36 + 833.350,92 \cdot t_f \text{ MPa}$$

$$f_0 = 0,872f_c + 0,371f_r + 6,258 = 0,872 \cdot 14 + 0,371 \cdot 10.075,92 \cdot t_r + 6,258 \Rightarrow$$

$$f_0 = 18,466 + 3.738,17 \cdot t_r \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cu}^* = 0,01237$$

$$\varepsilon_{cu}^* = \frac{f_c^* - f_0}{E_2} \Rightarrow 0,01237 = \frac{14 + 3.805,8 \cdot t_r^{0,7} - 18,466 - 3.738,17 t_r}{416,36 + 833.350,92 \cdot t_r} \Rightarrow$$

$$14.046,7 \cdot t_r - 3.805,8 \cdot t_r^{0,7} + 9,616 = 0$$

$$t_r = 0,000352 \text{ m} = 0,352 \text{ mm}$$

$$\frac{0,429 - 0,352}{0,429} = 0,179 \quad 17,9\% \text{ μείωση του συνολικού πάχους του}$$

μανδύα.

Παρατηρούμε και εδώ, ότι η περεταίρω αύξηση της στρογγυλοποίησης κατά 1 cm, από: 4 cm σε 5 cm, διπλασίασε το ποσοστό μείωσης του πάχους του μανδύα, το οποίο όμως είναι μειωμένο συγκριτικά με του τετραγωνικού υποστυλώματος (17,9% έναντι 20,8% αντίστοιχα).

1.β Επίλυση με σχέσεις ΚΑΝ.ΕΠΕ

Ακολουθούνται οι διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ §6.2.3 & §8.2.3

Υποστύλωμα Κ1 35/35

- Περίσφιγξη με επικολλητά υφάσματα ΙΟΠ ανθρακονημάτων.

$$\mu_{1/r} \equiv \mu_\phi$$

Γίνεται εξομάλυνση γωνιών σε μήκος $b_p = d_p = r = 40 \text{ mm}$

$$\alpha_\eta = 1 - \frac{1}{3A_c} [b_c^2(1-\beta)^2 + d_c^2(1-\gamma)^2]$$

$$\beta = 2 \frac{b_o}{b_c} = 2 \frac{40}{350} \Rightarrow \beta = 0,229 = \gamma \text{ (λόγω τετραγωνικής διατομής)}$$

$$\alpha_\eta = 1 - \frac{1}{3 \cdot 0,1225} \left[0,35^2 (1 - 0,229)^2 + 0,35^2 (1 - 0,229)^2 \right] \Rightarrow \alpha_\eta = 0,604$$

$$\alpha = \alpha_s \cdot \alpha_\eta = 1 \cdot 0,604 \Rightarrow \alpha = 0,604$$

Παραμόρφωση περισφιγμένου σκυροδέματος στην αστοχία

$\varepsilon_{cu}^* = \gamma_{\text{ιστ}} \cdot 0,0035 (f_c^* / f_c)^2$ όπου: $\gamma_{\text{ιστ}} = 1$ για ίνες άνθρακα και 2 για ίνες υάλου.

$$\varepsilon_{cu}^* = 0,01228 \text{ απαιτούμενο (έχει υπολογισθεί, από την } \mu_\phi = \frac{\varepsilon_{cu}^*}{2,2\varepsilon_{sy} \cdot \nu} \text{)}$$

$$(f_c^*)^2 = \frac{\varepsilon_{cu}^* \cdot f_c^2}{0,0035} = \frac{0,01228 \cdot 14^2}{0,0035} = 687,68 \Rightarrow f_c^* = 26,22 \text{ MPa}$$

Για συνεχή μανδύα όμως: $f_c^* = (1,125 + 1,25 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd}) f_c \Rightarrow$

$$26,22 = (1,125 + 1,25 \cdot 0,604 \omega_{wd}) \cdot 14 \Rightarrow \omega_{wd} = 0,991$$

$f_{jd} = \frac{f_u}{\gamma_m}$, $\gamma_m = 1,2$ και f_u εδώ είναι η εφελκυστική αντοχή του ΙΟΠ.

Οπότε το απαιτούμενο συνολικό πάχος t_f θα είναι:

$$t_f = \frac{A_{sw}}{s} \sigma_k = \frac{\omega_{wd}}{2 \min\left(\frac{\eta_b}{b}, \frac{\eta_s}{h}\right)} \frac{f_{cd}}{f_{jd}} = \frac{0,991}{2 \frac{2}{0,35}} \frac{14 \cdot 1,2}{3.800 \cdot 1,5} 10^3 \Rightarrow t_f = 0,256 \text{ mm}$$

Έναντι $t_f = 0,343 \text{ mm}$ που μας έδωσε το 1^ο προσομοίωμα, για $b_p = d_p = 40 \text{ mm}$ στο προηγούμενο τεύχος.

$\kappa = \frac{t_f}{t_{f0}} = \frac{0,256}{0,11} = 2,33$ άρα απαιτούνται 3 στρώσεις, έναντι τεσσάρων που έδωσε η επίλυση του 1ου προσομοιώματος, βέβαια με μεγάλη περίσσια πάχους καθώς οι 4 στρώσεις δίδουν $t_f = 0,44 \text{ mm}$ με απαίτηση

$t_f = 0,343 \text{ mm}$. Ανεξάρτητα όμως της περίσσιας πάχους υλικού, το πρώτο προσομοίωμα απαιτεί 33% μεγαλύτερο πάχος που απαιτεί το δεύτερο προσομοίωμα.

Να πούμε ότι λιγότερες από 2 στρώσεις δεν τοποθετούνται στους μανδύες από ΙΟΠ, ανεξάρτητα από το απαιτούμενο πάχος υπολογισμού με οποιαδήποτε μέθοδο.

Ο καθηγητής Κ. Σπυράκος, προκειμένου να καλυφθεί η περίπτωση λυγισμού του διαμήκους οπλισμού, αλλά και να βελτιωθεί η συνάφεια τους (αγκύρωσή τους) στη μάτιση, συνιστά **επαύξηση του πάχους υπολογισμού του μανδύα κατά 33%**.

Σε μια τέτοια περίπτωση, πρόσθετης προστασίας των ράβδων διαμήκους οπλισμού από λυγισμό, σύμφωνα πάντα με τον καθηγητή Κ. Σπυράκο, θα είχαμε:

$$t_{\text{ολ.}} = 1,33t_f = 1,33 \cdot 0,256 \Rightarrow t_{\text{ολ.}} = 0,34 \text{ mm}$$

Όσο περίπου μας έδωσε το 1ο προσομοίωμα $t_f = 0,343 \text{ mm}$.

Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ όμως δεν αναφέρεται κάτι ανάλογο. Προφανώς γιατί αν σε σχετικό έλεγχο, κάλυψης του λυγισμού του διαμήκους οπλισμού, προκύψει πάχος μανδύα μεγαλύτερο, τότε εφαρμόζεται αυτό το πάχος.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, στον ΚΑΝ.ΕΠΕ αναφέρεται ότι χρησιμοποιείται μειωτικός συντελεστής, υπολογισμού της εφελκυστικής αντοχής σχεδιασμού του ΙΟΠ, αν οι στρώσεις του υπερβαίνουν τις τρεις.

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι η μέθοδος του καθηγητή Α. Τριανταφύλλου (1ο προσομοίωμα) μπορεί να δίνει συντηρητικά αποτελέσματα (μεγαλύτερο πάχος t_f μανδύα), συγκριτικά με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., καλύπτει όμως και την περίπτωση λυγισμού του διαμήκους οπλισμού του υποστυλώματος, όπως συνιστά ο καθηγητής Κ. Σπυράκος.

Υποστύλωμα Κ2 40/30

Περίσφιγξη με επικολλητά υφάσματα ΙΟΠ ανθρακονημάτων.

Γίνεται εξομάλυνση γωνιών σε μήκος $b_p = d_p = 40 \text{ mm}$

$$\alpha_\eta = 1 - \frac{1}{3A_c} [b_c^2(1-\beta)^2 + d_c^2(1-\gamma)^2]$$

$$\beta = 2 \frac{b_p}{b_c} = 2 \frac{40}{300} \Rightarrow \beta = 0,267$$

$$\gamma = 2 \frac{d_p}{d_c} = 2 \frac{40}{400} \Rightarrow \gamma = 0,2$$

$$\alpha_\eta = 1 - \frac{1}{3 \cdot 0,12} [0,30^2(1-0,267)^2 + 0,40^2(1-0,2)^2] \Rightarrow \alpha_\eta = 0,581$$

$$\alpha = \alpha_s \cdot \alpha_\eta = 1 \cdot 0,581 \Rightarrow \alpha = 0,581$$

$\varepsilon_{cu}^* = \gamma_{\text{ισπ}} \cdot 0,0035 (f_c^* / f_c)^2$ όπου $\gamma_{\text{ισπ}} = 1$ για ίνες άνθρακα και 2 για ίνες υάλου.

$$\varepsilon_{cu}^* = 0,01237 \text{ απαιτούμενο (έχει υπολογισθεί, από την } \mu_\phi = \frac{\varepsilon_{cu}^*}{2,2\varepsilon_{sy} \cdot \nu}$$

$$(f_c^*)^2 = \frac{\varepsilon_{cu}^* \cdot f_c^2}{0,0035} = \frac{0,01237 \cdot 14^2}{0,0035} = 692,72 \Rightarrow f_c^* = 26,32 \text{ MPa}$$

Για συνεχή μανδύα όμως: $f_c^* = (1,125 + 1,25 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd}) f_c \Rightarrow$

$$26,32 = (1,125 + 1,25 \cdot 0,581 \omega_{wd}) \cdot 14 \Rightarrow \omega_{wd} = 1,04$$

$$f_{jd} = \frac{f_u}{\gamma_m}, \quad \gamma_m = 1,2$$

$$t_f = \frac{A_{sw}}{s} \sigma_K = \frac{\omega_{wd}}{2 \min\left(\frac{\eta_b}{b}, \frac{\eta_h}{h}\right)} \frac{f_{cd}}{f_{jd}} = \frac{1,04}{2 \frac{2}{0,40}} \frac{14 \cdot 1,2}{3.800 \cdot 1,5} 10^3 \Rightarrow t_f = 0,306 \text{ mm}$$

Έναντι, $t_f = 0,39 \text{ mm}$ που μας έδωσε το 1ο προσομοίωμα και $0,256 \text{ mm}$ που απαιτείται για το τετραγωνικό υποστύλωμα K1, με τη μέθοδο του ΚΑΝ.ΕΠΕ (2ο προσομοίωμα).

$$\kappa = \frac{0,306}{0,11} \Rightarrow \kappa = 2,78 \quad \text{άρα 3 στρώσεις.}$$

Υπενθυμίζεται ότι: το πάχος του μανδύα, που υπολογίσαμε αρχικά, υπολογίζεται κατά τον παραπάνω τρόπο όταν οι στρώσεις δεν υπερβαίνουν τις τρεις ($\kappa \leq 3$). Σε διαφορετική περίπτωση που το συνολικό πάχος του μανδύα απαιτεί τέσσερες ή περισσότερες στρώσεις υφάσματος ($\kappa \geq 4$) χρησιμοποιείται μειωμένη τιμή, f_j' της εφελκυστικής αντοχής, f_j , του ΙΟΠ, ως εξής: $f_j' = f_j \cdot \psi$

Σύμφωνα με σχόλιο του ΚΑΝ.ΕΠΕ., η τιμή του συντελεστή μεγάλου πλήθους στρώσεων, ψ εκτιμάται με βάση αξιόπιστα βιβλιογραφικά στοιχεία. Ελλείψει επαρκών σχετικών στοιχείων, μπορεί να λαμβάνεται:

$$\psi = \kappa^{-1/4} \quad \text{όπου } \kappa \text{ το πλήθος των στρώσεων του ΙΟΠ.}$$

As αυξήσουμε την θλιπτική δύναμη του υποστυλώματος, από 580 KN σε 650 KN, προκειμένου το πάχος του μανδύα, t_f , να απαιτεί περισσότερες των τριών στρώσεων ώστε να δούμε τι μας δίνει η εφαρμογή του συντελεστή μεγάλου πλήθους στρώσεων ψ , σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

$$\nu = \frac{N_d}{A_o \cdot f_{cm}} = \frac{650}{0,40 \cdot 0,30 \cdot 17 \cdot 10^3} \Rightarrow \nu = 0,3186$$

$$\mu_\phi = \frac{\varepsilon_{cu}^*}{2,2\varepsilon_{sy} \cdot \nu} \Rightarrow \varepsilon_{cu}^* = 2,2\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy} \cdot \nu = 2,2 \cdot 9 \cdot 0,0022 \cdot 0,3186 \Rightarrow \varepsilon_{cu}^* = 0,013878$$

$$\left(f_c^*\right)^2 = \frac{\varepsilon_{cu}^* \cdot f_c^2}{0,0035} = \frac{0,013878 \cdot 14^2}{0,0035} = 777,168 \Rightarrow f_c^* = 27,88 \text{ MPa}$$

$$\text{Για συνεχή μανδύα όμως: } f_c^* = (1,125 + 1,25 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd}) f_c \Rightarrow$$

$$27,88 = (1,125 + 1,25 \cdot 0,581 \cdot \omega_{wd}) 14 \Rightarrow \omega_{wd} = 1,193$$

$$r_{jd} = \frac{f_u}{\gamma_m}, \quad \gamma_m = 1,2$$

$$t_r = \frac{A_{sw}}{s} \sigma_k = \frac{\omega_{wd}}{2 \min\left(\frac{\eta_b}{b}, \frac{\eta_h}{h}\right)} \frac{f_{cd}}{r_{jd}} = \frac{1,193}{2 \cdot \frac{2}{3.800 \cdot 1,5}} \frac{14 \cdot 1,2}{0,40} 10^3 \Rightarrow t_r = 0,352 \text{ mm}$$

$$\kappa = \frac{0,352}{0,11} \Rightarrow \kappa = 3,2 > 3 \Rightarrow 4 \text{ στρώσεις.}$$

Πρέπει να χρησιμοποιήσουμε το συντελεστή μεγάλου πλήθους στρώσεων ψ .

$$\psi = \kappa^{-1/4}, \quad f'_j = f_j \cdot \psi = f_j \cdot \kappa^{-1/4} = 3.800 \cdot 4^{-1/4} \Rightarrow f'_j = 2.687 \text{ MPa}$$

$$t_r = \frac{A_{sw}}{s} \sigma_k = \frac{\omega_{wd}}{2 \min\left(\frac{\eta_b}{b}, \frac{\eta_h}{h}\right)} \frac{f_{cd}}{f_{jd}} = \frac{1,193}{2 \cdot \frac{2}{0,40}} \frac{14 \cdot 1,2}{2.687 \cdot 1,5} 10^3 \Rightarrow t_r = 0,497 \text{ mm}$$

Παρατηρούμε ότι το πάχος του μανδύα, από $t_f = 0,352 \text{ mm}$ γίνεται $t_f = 0,497 \text{ mm}$.

Πολύ μεγάλη αύξηση πάχους που προσθέτει ακόμη μια στρώση,

$$\kappa = \frac{0,497}{0,11} \Rightarrow \kappa = 4,52 \Rightarrow 5 \text{ αντί 4 στρώσεις.}$$

θα προχωρήσουμε στην ίδια επίλυση με το 1ο προσομοίωμα (ημιεμπειρικές σχέσεις Α. Τριανταφύλλου), προκειμένου να δούμε αν καλύπτει και την μεγάλη αύξηση του πάχους που έδωσε η λύση ΚΑΝ.ΕΠΕ, για θλιπτική δύναμη 650 KN.

Υποστύλωμα K2 40/30 για $r = 40 \text{ mm}$

$$v = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cm}} = \frac{650}{0,40 \cdot 0,30 \cdot 17 \cdot 10^3} \Rightarrow v = 0,3186 \text{ (όπως και στο προσομοίωμα 2)}$$

$$\mu_\phi = \frac{\varepsilon_{cu}^*}{2,2\varepsilon_{sy}} \Rightarrow \varepsilon_{cu}^* = 2,2\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy} \cdot v = 2,2 \cdot 9 \cdot 0,0022 \cdot 0,3186 \Rightarrow \varepsilon_{cu}^* = 0,01388$$

Έχουμε ήδη υπολογίσει για $r = 40 \text{ mm}$, πιο πάνω, τα μεγέθη f_c^* , E_2 , και f_0

$$f_c^* = 14 + 3.653,25 \cdot t_r^{0,7} \text{ MPa}$$

$$E_2 = 416,36 + 833.350,92 \cdot t_r \text{ MPa}$$

$$f_0 = 18,466 + 3.525,91 \cdot t_r \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cu}^* = \frac{f_c^* - f_0}{E_2} \Rightarrow 0,01388 = \frac{14 + 3.653,25 \cdot t_r^{0,7} - 18,466 - 3.525,91 t_r}{416,36 + 833.350,92 \cdot t_r} \Rightarrow$$

$$15.092,82 \cdot t_r - 3.653,25 \cdot t_r^{0,7} + 10.245 = 0$$

$$t_{r,1} = 0,000493 \text{ mm} = 0,493 \text{ mm}$$

Το προσομοίωμα 2 (ΚΑΝ.ΕΠΕ.), με χρήση του συντελεστή μεγάλου πλήθους στρώσεων Ψ έδωσε $t_f = 0,497 \text{ mm}$, σχεδόν ταυτίζεται με το προσομοίωμα 1 που έδωσε $t_{f,1} = 0,493 \text{ mm}$

Με όσα είδαμε, από τις παραπάνω επιλύσεις και αυτές του πρηγούμενου τεύχους, συμπεραίνουμε ότι οι σχέσεις του καθηγητή Α. Τριανταφύλλου (προσομοίωμα 1) μπορεί να δίνουν συντηρητικά αποτελέσματα, καλύπτουν όμως και την περίπτωση μεγάλου πλήθους στρώσεων, χωρίς διαφοροποίηση των σχέσεων υπολογισμού ή χρήση διορθωτικού συντελεστή αντοχής του ΙΟΠ, όπως είδαμε ότι απαιτεί ο ΚΑΝ.ΕΠΕ (προσομοίωμα 2).

Προσωπικά θεωρούμε ότι οι σχέσεις του καθηγητή Α. Τριανταφύλλου προσφέρουν σιγουριά στο μηχανικό που θα επιλέξει την περίσφιξη υποστυλωμάτων, με ινοπλισμένα πολυμερή. Αυτό γιατί, εκτός των παραπάνω η τεχνολογία τους δεν είναι ευρέως γνωστή, στον τεχνικό κόσμο, σε σύγκριση με την αντίστοιχη τεχνολογία των συμβατικών υλικών.

Βέβαια για τον υπολογισμό του απαιτούμενου πάχους t_f , η Ελληνική και γενικότερα η διεθνής βιβλιογραφία έχουν να προσφέρουν πληθώρα αναλυτικών προσομοιωμάτων περίσφιξης. Θεωρούμε όμως ότι, η συγκεκριμένη μέθοδος του καθηγητή Α. Τριανταφύλλου, πέραν των όσων αναφέρθηκαν, είναι εύκολη και σύντομη στην επίλυσή της.

Αύξηση διατμητικής αντοχής υποστυλώματος

Υποστύλωμα Κ1 35/35 (bp= dp= r = 40 mm)

Υπολογισμός του αριθμού των στρώσεων, του μανδύα από σύνθετα υλικά με τις σχέσεις που δίνει ο καθηγητής Κ. Σπυράκος (2004), που απαιτούνται ώστε να επιτευχθεί αύξηση της διατμητικής αντοχής του υποστυλώματος που θα έδιναν πυκνοί συνδετήρες Φ8/10 και S400.

Η τέμνουσα που παραλαμβάνεται από το σκυρόδεμα V_{cd} είναι η ίδια τόσο για την αρχική όσο και για την ενισχυμένη διατομή. Η πρόσθετη τέμνουσα που θα παραλάβει ο μανδύας V_{sj} θα προκύψει από τη διαφορά της τέμνουσας που παραλαμβάνει ο επιθυμητός και ο υπάρχων οπλισμός διάτμησης, $(V_{wd,επ} - V_{wd,υπ})$ δηλαδή οι συνδετήρες Φ8/10 S400 και Φ8/25 S220 αντίστοιχα.

(Χρησιμοποιούμε τους συμβολισμούς που χρησιμοποιεί ο καθ. Κ. Σπυράκος στο βιβλίο του, ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία (2004)).

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} 0,90 \cdot d \cdot f_{ywd} (1 + \cot \alpha) \sin \alpha \quad (1) \quad (\text{σχέση 11.11 ΕΚΩΣ 2000})$$

Όπου:

A_{sw} η διατομή του οπλισμού διάτμησης

s η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων

d το στατικό ύψος της διατομής

f_{ywd} η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του χάλυβα των συνδετήρων

α η γωνία κλίσης του οπλισμού διάτμησης. (για οριζόντιους συνδετήρες $\alpha=90^\circ$).

Για τους συνδετήρες $\Phi 8/10$, $d = 35 - 2 - 0,8 - 2/2 = 31,2$

$$(1) \Rightarrow V_{wd} = \frac{2 \cdot 0,5}{10} 0,90 \cdot 31,2 \frac{40}{1,15} (1 + \cot 90^\circ) \sin 90^\circ \Rightarrow V_{wd} = 97,67 \text{ KN}$$

Για τους υπάρχοντες συνδετήρες $\Phi 8/25$, S220 έχουμε:

$$V_{wd} = \frac{2 \cdot 0,5}{25} 0,90 \cdot 31,2 \frac{22}{1,15} (1 + \cot 90^\circ) \sin 90^\circ \Rightarrow V_{wd} = 21,49 \text{ KN}$$

Παρατηρούμε ότι οι πυκνοί συνδετήρες με χάλυβα S400 ανεβάζουν την διατμητική αντοχή κατά $\frac{97,67 - 21,49}{21,49} = 3,55$ ή 355%

Αν ο χάλυβας των συνδετήρων $\Phi 8/10$ είναι S220 αντί S400 θα μας δώσει:

$$V_{wd} = \frac{2 \cdot 0,5}{10} 0,90 \cdot 31,2 \frac{22}{1,15} (1 + \cot 90^\circ) \sin 90^\circ \Rightarrow V_{wd} = 53,72 \text{ KN} \text{ δηλαδή:}$$

2,5 φορές μεγαλύτερη τέμνουσα ή ποσοστιαία αύξηση
 $\frac{53,72 - 21,49}{21,49} = 1,5$ ή 150%

Είναι προφανής η μεγάλη προσφορά των πυκνών συνδετήρων στη διατμητική αντοχή των υποστυλωμάτων.

Εμείς όμως θέλουμε να προσδιορίσουμε τις στρώσεις, του μανδύα, που απαιτούνται προκειμένου να καλυφτεί η διαφορά παραλαβής τέμνουσας μεταξύ των συνδετήρων **Φ8/10 S400** και **Φ8/25 S220**.

Η τέμνουσα που πρέπει να παραλάβει ο μανδύας από ανθρακονήματα είναι:

$$V_{sj} = (V_{wd,στ} - V_{wd,υπ}) = 97,67 - 21,49 = 76,18 \text{ KN}$$

Για ίνες του πολυμερούς κάθετες στον άξονα του στοιχείου ($\alpha = 90^\circ$) όπως εδώ, έχουμε: $V_{sj} = 1,8 \cdot \eta \cdot t_j \cdot h \cdot \varepsilon_{fd,e} E_f$

Για την ενίσχυση υποστυλωμάτων σε διάτμηση, τα ινοπλισμένα πολυμερή εφαρμόζονται όπως και στην περίπτωση εξωτερικής περίσφιγξης, δηλαδή οι ίνες του πολυμερούς είναι κατά κανόνα κάθετες στον άξονα του στοιχείου. Ο μανδύας σύνθετου στοιχείου θεωρείται ότι συμπεριφέρεται σαν πρόσθετος οπλισμός διάτμησης, ενώ δεν συνεισφέρει στην αντοχή της διατομής λόγω λοξής θλίψης κορμού. Για το λόγο αυτό, η τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού, λόγω λοξής θλίψης κορμού V_{Rd2} , λαμβάνεται ίση με αυτήν του στοιχείου πριν την επέμβαση.

Επιλύοντας ως προς τον αριθμό των στρώσεων η την παραπάνω σχέση έχουμε:

$$\eta = \frac{V_{sj}}{1,8 \cdot t_j \cdot h \cdot \varepsilon_{fd,e} \cdot E_f}$$

Θα χρησιμοποιήσουμε το ίδιο σύνθετο υλικό ινών άνθρακα FRP Mega wrap – 200 (ύφασμα με ίνες άνθρακα σε μια διεύθυνση, με πάχος $t_{f0} = 0,11 \text{ mm}$) η εφελκυστική αντοχή $f_f = 3800 \text{ MPa}$ και το μέτρο ελαστικότητας $E_f = 235 \text{ GPa}$ παραμόρφωση θραύσης $\varepsilon_{fb} = 1,5\%$

Για τον υπολογισμό της $\varepsilon_{jd,e}$ πρέπει να είναι γνωστό το γεωμετρικό ποσοστό του μανδύα σύνθετων υλικών ρ_w , το οποίο είναι συνάρτηση του αριθμού των στρώσεων η , απαιτείται επαναληπτική διαδικασία. Για μια στρώση έχουμε:

$$\rho_w = 2 \cdot \eta \cdot t_j / (b_w \cdot \sin \alpha) = \frac{2 \cdot 1 \cdot 0,011}{35 \cdot \sin 90^\circ} = 0,00063$$

Η παραμόρφωση θραύσης $\varepsilon_{fib} \equiv \varepsilon_{fuk} = 1,5\%$

$$\varepsilon_{jud} = \frac{\varepsilon_{fuk}}{\gamma_f} = \frac{0,015}{1,30} \Rightarrow \varepsilon_{jud} = 0,0115,$$

Ο συντελεστής ασφαλείας γ_f , λαμβάνεται: 1,20 , 1,25 , 1,30, για ίνες υάλου , πολυαραμίδης και άνθρακα αντίστοιχα, (πάντα σύμφωνα με τα όσα αναφέρει ο καθηγητής Κ. Σπυράκος). Το τονίζουμε αυτό, γιατί όπως θα δούμε παρακάτω, στις σχέσεις που χρησιμοποιεί ο κ. Α. Τριανταφύλλο, οι συντελεστές ασφαλείας γ_f λαμβάνονται αντίθετα: 1,20 για ίνες άνθρακα και 1,30 για ίνες υάλου και θεωρούμε ότι πρέπει να είναι λάθος γραμμένοι και λάθος χρησιμοποιήθηκαν στο βιβλίο του κ. Κ. Σπυράκου.

Η τιμή σχεδιασμού της ενεργού παραμόρφωσης $\varepsilon_{jd,e}$ για κλειστούς μανδύες όπως εδώ υπολογίζεται από:

$$\varepsilon_{jd,e} = \min \left[0,17 \cdot \varepsilon_{jud} \left(\frac{f_{cm}^{2/3}}{E_f \cdot \rho_w} \right)^{0,3}, \frac{0,006}{\gamma_{fl}} \right]$$

(ο συντελεστής ασφαλείας γ_{fl} λαμβάνεται 1,25)

$$\varepsilon_{jd,e} = \min \left[0,17 \cdot 0,0115 \left(\frac{17^{2/3}}{235 \cdot 0,00063} \right)^{0,3}, \frac{0,006}{1,25} \right]$$

$$\varepsilon_{jd,e} = \min[0,0061, 0,0048] = 0,0048$$

$$\eta = \frac{V_{sj}}{1,8 \cdot t_j \cdot h \cdot \varepsilon_{jd,e} \cdot E_r} = \frac{76,18}{1,8 \cdot 0,011 \cdot 35 \cdot 0,0048 \cdot 23500} = 0,975 \approx 1 \text{ στρώση}$$

Βλέπουμε ότι μία μόνο στρώση του εν λόγω FRP ανθρακονημάτων είναι επαρκής για τη συγκεκριμένη αύξηση της διατμητικής αντοχής του υποστρώματος.

Σύμφωνα λοιπόν με τις σχέσεις που χρησιμοποιεί στο βιβλίο του, ο καθηγητής Κ. Σπυράκος, ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία (2004) συμπεραίνουμε ότι με το μανδύα από ΙΟΠ μπορούμε πολύ εύκολα να αυξήσουμε αρκετά τη διατμητική αντοχή των υποστρωμάτων. Είδαμε ότι με μία στρώση μπορούμε να έχουμε αύξηση της διατμητικής αντοχής, ανάλογη αυτής των πυκνών συνδετήρων (Φ8/10 S400) αφαιρούμενης της διατμητικής αντοχής των συνδετήρων (Φ8/25 S220). Είναι όμως ακριβώς έτσι; Θα το δούμε αμέσως πιο κάτω.

Προκειμένου να εξαγάγουμε ασφαλή συμπεράσματα, θα υπολογίσουμε την αύξηση της διατμητικής αντοχής, λόγω περίσφιγξης με μανδύα ΙΟΠ, και με τις σχέσεις που περιέχονται στο βιβλίο (σε ηλεκτρονική μορφή) του καθηγητή Αθανάσιου Τριανταφύλλου, Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας με Σύνθετα Υλικά (ΠΑΤΡΑ 2006).

Δηλαδή ζητάμε και εδώ το σχεδιασμό συνεχούς μανδύα σύνθετων υλικών με τις ίνες κάθετα στον άξονα του μέλους ($\alpha=90^\circ$) για πρόσθετη τέμνουσα:

$V_{Rd,f} \equiv V_{wj} = 76,18 \text{ KN}$ και $\theta = 45^\circ$, όπως ήδη πράξαμε. θ = γωνία ρωγμής ως προς τον άξονα του μέλους.

Σχέσεις που θα χρησιμοποιηθούν:

(Χρησιμοποιούνται και εδώ οι συμβολισμοί που χρησιμοποιεί ο καθηγητής Α. Τριανταφύλλου στο βιβλίο του).

$V_{Rd,f}$ τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού που παραλαμβάνεται από τα σύνθετα υλικά,

$$V_{Rd,f} = 2 \cdot t_f \cdot d_f \cdot \sigma_{fed} \cdot \cot \theta$$

$$d_f = 0,9 \cdot d \quad (d = \text{στατικό ύψος διατομής})$$

Βασισμένος στο προσομοίωμα των Monti et al, ο Ευρωκώδικας 8 δίνει:

Ενεργή τάση σ_{fed}

$$\sigma_{fed} = f_{fbd} \left[1 - \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) \frac{l_{b,max} \cdot \sin \alpha}{2d_f} \right] + \frac{1}{2} [f_{fu,w}(R) - f_{fbd}] \left[1 - \frac{l_{b,max} \cdot \sin \alpha}{d_f} \right]$$

Όπου $f_{fu,w}(R)$ = εφελκυστική αντοχή κλειστού μανδύα ο οποίος εφαρμόζεται σε μέλος πλάτους b_w με στρογγυλεμένες γωνίες και ακτίνα καμπυλότητας R .

$$f_{fu,w}(R) = f_{fbd} + (n_R \cdot f_{fd} - f_{fbd})$$

Αν η ποσότητα $(n_R \cdot f_{fd} - f_{fbd})$ της παραπάνω εξίσωσης είναι αρνητική, τότε ο δεύτερος όρος λαμβάνεται ίσος με το μηδέν. Ο συντελεστής n_R είναι (Campione and Miraglia 2003):

$$n_R = 0,2 + 1,6 \frac{R}{b_w}, \quad 0 \leq \frac{R}{b_w} \leq 0,5$$

Τα $l_{b,max}$, κ_b και f_{fbd} των παραπάνω σχέσεων δίνονται από:

$$l_{b,max} = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{E_f \cdot t_f}{\sqrt{f_{ctm} \cdot \kappa_b}}} \quad (mm)$$

$$\text{Όπου } \kappa_b \text{ ο συντελεστής κάλυψης ίσος με } \kappa_b = \sqrt{\frac{1,5 \left(2 - \frac{b_f}{b} \right)}{1 + \frac{b_f}{100}}} \geq 1,$$

Για συνεχή μανδύα είναι $\kappa_b = 1$

$$\text{Για } l_b \geq l_{b,max} : f_{fbd} = \frac{1}{\gamma_{fb}} \sqrt{\frac{0,6 \cdot E_f \cdot f_{ctm} \cdot \kappa_b}{t_f}} \quad (N/mm^2)$$

$$\text{Για } l_b \leq l_{b,max} : f_{fbd} = \frac{1}{\gamma_{fb}} \sqrt{\frac{0,6 \cdot E_f \cdot f_{ctm} \cdot \kappa_b}{t_f}} \frac{l_b}{l_{b,max}} \left(2 - \frac{l_b}{l_{b,max}} \right) \quad (N/mm^2)$$

Όπου l_b = μήκος επικόλλησης και $l_{b,max}$ είναι όταν το l_b λάβει μια οριακή τιμή ($l_{b,max}$), πέρα από την οποία η δύναμη αποκόλλησης, N_{fa} , (μέγιστη δύναμη αγκύρωσης) παραμένει πρακτικά αμετάβλητη, ίση με $N_{fa,max}$.

Αγκύρωση πραγματοποιείται με αλληλοεπικάλυψη του σύνθετου υφάσματος στο τέλος. Αυτή συνήθως είναι της τάξης των 20 εκατοστών και πάντως όχι μικρότερη των 15 εκατοστών.

N_{fbd} = αντοχή (δύναμη) που αντιστοιχεί σε αποκόλληση των σύνθετων υλικών πάντα.

Θα ξεκινήσουμε με **μία στρώση** και θα χρησιμοποιήσουμε το ίδιο ύφασμα, με ίνες άνθρακα FRP Mega wrap – 200 (ύφασμα με ίνες άνθρακα σε μια διεύθυνση, με πάχος $t_{f0} = 0,11 \text{ mm}$) η εφελκυστική αντοχή $f_f = 3800 \text{ MPa}$ και το μέτρο ελαστικότητας $E_f = 235 \text{ GPa}$ παραμόρφωση θραύσης $\varepsilon_{fib} = 1,5\%$

Η αντοχή σχεδιασμού εδώ λαμβάνεται: $f_{fd} = \frac{f_f}{\gamma_f}$

όπου ο συντελεστής ασφαλείας υλικού γ_f , λαμβάνεται:

για τα ανθρακονήματα =1,20

για τα νήματα αραμιδίου =1,25 και

για τα υαλονήματα =1,30

επομένως $f_{fd} = \frac{f_f}{\gamma_f} = \frac{3.800}{1,2} \Rightarrow f_{fd} = 3.167 \text{ MPa}$

εκτιμώμενη εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος f_{ctm}

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 0,3 \cdot 14^{2/3} \Rightarrow f_{ctm} = 1,74 \text{ N/mm}^2$$

$$n_R = 0,2 + 1,6 \frac{R}{b_w} = 0,2 + 1,6 \frac{40}{350} = 0,383 \text{ και}$$

$$0 \leq \frac{R}{b_w} \leq 0,5 \Rightarrow 0 \leq \frac{40}{350} \leq 0,5 \Rightarrow 0 \leq 0,114 \leq 0,5$$

$$l_{b,max} = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{E_f \cdot t_f}{\sqrt{f_{ctm} \cdot \kappa_b}}} = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{235.000 \cdot 0,11}{\sqrt{1,74 \cdot 1}}} \Rightarrow l_{b,max} = 84 \text{ mm}$$

$$f_{fbd} = \frac{1}{\gamma_{fb}} \sqrt{\frac{0,6 \cdot E_f \cdot f_{ctm} \cdot \kappa_b}{t_f}} = \frac{1}{1,5} \sqrt{\frac{0,6 \cdot 235.000 \cdot 1,74 \cdot 1}{0,11}} \Rightarrow f_{fbd} = 995 \text{ N/mm}^2$$

Ο συντελεστής γ_{fb} λαμβάνεται ίσος με 1,5

$$f_{fu,w}(R) = f_{fbd} + (n_R \cdot f_{fd} - f_{fbd}) = 995 + (0,383 \cdot 3.167 - 995) \Rightarrow f_{fu,w}(R) = 1.213 \text{ N/mm}^2$$

(όπως ήδη ελέχθη αν ο όρος της παρένθεσης ήταν αρνητικός, θα λαμβάνονταν μηδέν και η τιμή θα ήταν αυτή του πρώτου όρου)

$$\sigma_{fed} = f_{fbd} \left[1 - \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) \frac{l_{b,max} \cdot \sin \alpha}{2d_f} \right] + \frac{1}{2} [f_{fu,w}(R) - f_{fbd}] \left[1 - \frac{l_{b,max} \cdot \sin \alpha}{d_f} \right] \Rightarrow$$

$$\sigma_{fed} = 995 \left[1 - \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) \frac{84 \cdot 1}{2 \cdot 0,9 \cdot 312} \right] + \frac{1}{2} [1.213 - 995] \left[1 - \frac{84 \cdot 1}{0,9 \cdot 312} \right] \Rightarrow \sigma_{fed} = 1.017 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,f} = 2 \cdot t_f \cdot d_f \cdot \sigma_{fed} \cdot \cot \theta = 2 \cdot 0,11 \cdot 0,9 \cdot 312 \cdot 1.017 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \Rightarrow V_{Rd,f} = 62,83 \text{ KN}$$

$$62,83 < \frac{76,18}{0,975} \Rightarrow 62,83 \text{ KN} < 78,13 \text{ KN} \text{ (0,975 είναι 0,975 της στρώσης που}$$

μας έδωσε η προηγούμενη λύση, για την παραλαβή τέμνουσας 76,18 KN)

Άρα 78,13 KN μας έδωσε η 1 στρώση, με τις σχέσεις που δίνει ο καθηγητής Κ. Σπυράκος (2004) έναντι 62,83 KN του καθηγητή Αθ. Τριανταφύλλου.

Μια διαφορά πρέπει να προκύπτει από το ότι στην πρώτη λύση ο συγγραφέας χρησιμοποιεί μέση τιμή αντοχής του σκυροδέματος προκειμένου να υπολογίσει την εφελκυστική του αντοχή, ενώ στη δεύτερη λύση του καθηγητή Αθ. Τριανταφύλλου (2006) χρησιμοποιείται η χαρακτηριστική τιμή του σκυροδέματος. Αυτή η διαφορά όμως πρέπει να δίνει μικρή αύξηση. Ας το δούμε.

Χρησιμοποιούμε τη μέση τιμή $f_{cm} = 17 \text{ MPa}$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{cm}^{2/3} = 0,3 \cdot 17^{2/3} \Rightarrow f_{ctm} = 1,98 \text{ N/mm}^2$$

$$l_{b,max} = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{E_f \cdot t_f}{\sqrt{f_{ctm} \cdot \kappa_b}}} = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{235.000 \cdot 0,11}{\sqrt{1,98 \cdot 1}}} \Rightarrow l_{b,max} = 82 \text{ mm}$$

$$f_{fbd} = \frac{1}{\gamma_{fb}} \sqrt{\frac{0,6 \cdot E_f \cdot f_{ctm} \cdot \kappa_b}{t_f}} = \frac{1}{1,5} \sqrt{\frac{0,6 \cdot 235.000 \cdot 1,98 \cdot 1}{0,11}} \Rightarrow f_{fbd} = 1.062 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{fu,w}(R) = f_{fbd} + (n_R \cdot f_{fd} - f_{fbd}) = 1.062 + (0,383 \cdot 3.167 - 1.062) \Rightarrow f_{fu,w}(R) = 1.213 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{fed} = f_{fbd} \left[1 - \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) \frac{l_{b,max} \cdot \sin \alpha}{2d_f} \right] + \frac{1}{2} [f_{fu,w}(R) - f_{fbd}] \left[1 - \frac{l_{b,max} \cdot \sin \alpha}{d_f} \right] \Rightarrow$$

$$\sigma_{fed} = 1.062 \left[1 - \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) \frac{82 \cdot 1}{2 \cdot 0,9 \cdot 312} \right] + \frac{1}{2} [1.213 - 1.062] \left[1 - \frac{82 \cdot 1}{0,9 \cdot 312} \right] \Rightarrow$$

$$\sigma_{fed} = 1.059 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,f} = 2 \cdot t_f \cdot d_f \cdot \sigma_{fed} \cdot \cot \theta = 2 \cdot 0,11 \cdot 0,9 \cdot 312 \cdot 1.059 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$V_{Rd,f} = 65,42 \text{ KN}$ έναντι $62,83 \text{ KN}$ που βρήκαμε πριν (σχετικά μικρή διαφορά).

Ο καθηγητής Αθανάσιος Τριανταφύλλου αναφέρει στο βιβλίο του (2006) και άλλον περιορισμό για την ενεργή τάση σ_{fed} , γράφοντας τα εξής.

«Η ανάπτυξη μεγάλου ανοίγματος ρωγμής ενδέχεται να μειώσει σημαντικά την συμβολή των μηχανισμών ανάληψης τέμνουσας που εκφράζονται μέσου του όρου $V_{Rd,c}$ (λόγω σημαντικής μείωσης της αλληλεμπλοκής των αδρανών και/ή της θλιβόμενης ζώνης), με αποτέλεσμα να βρεθεί το μέλος στην οριακή κατάσταση αστοχίας λόγω τέμνουσας πριν αστοχήσουν (λόγω θραύσης ή αποκόλλησης) τα σύνθετα υλικά. Γι' αυτό είναι σκόπιμο να περιορίζεται η σ_{fed} σε μια μέγιστη τιμή, της τάξης του $0,004E_f$ ».

Αυτό, στην περίπτωσή μας σημαίνει ότι η σ_{fed} πρέπει να είναι:

$$\sigma_{fed} \leq 0,004E_f = 0,004 \cdot 235.000 = 940 \text{ N/mm}^2$$

Άρα αν τηρήσουμε αυτόν τον περιορισμό τη σ_{fed} ούτε 1.017 N/mm^2 ούτε πολύ περισσότερο 1.072 N/mm^2 μπορούμε να τη θεωρήσουμε. Επομένως θα έχουμε:

$$V_{Rd,f} = 2 \cdot t_f \cdot d_f \cdot \sigma_{fed} \cdot \cot \theta = 2 \cdot 0,11 \cdot 0,9 \cdot 312 \cdot 940 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$$V_{Rd,f} = 58,07 \text{ KN αντί } 62,83 \text{ KN},$$

$58,07 \text{ KN} < 76,18 \text{ KN}$ που απαιτείται $< 78,13 \text{ KN}$ που μας έδωσε η πρώτη λύση.

Θα προχωρήσουμε, με τον περιορισμό αυτόν, στον υπολογισμό της τέμνουσας δύναμης που μπορούν να παραλάβουν οι 2 στρώσεις.

$$l_{b,max} = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{E_f \cdot t_f}{\sqrt{f_{ctm} \cdot \kappa_b}}} = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{235.000 \cdot 2 \cdot 0,11}{\sqrt{1,74 \cdot 1}}} \Rightarrow l_{b,max} = 119 \text{ mm}$$

$$f_{fbd} = \frac{1}{\gamma_{fb}} \sqrt{\frac{0,6 \cdot E_f \cdot f_{ctm} \cdot \kappa_b}{t_f}} = \frac{1}{1,5} \sqrt{\frac{0,6 \cdot 235.000 \cdot 1,74 \cdot 1}{2 \cdot 0,11}} \Rightarrow f_{fbd} = 704 \text{ N/mm}^2$$

Ο συντελεστής γ_{fb} λαμβάνεται ίσος με 1,5

$$f_{fu,w}(R) = f_{fbd} + (n_R \cdot f_{fd} - f_{fbd}) = 704 + (0,383 \cdot 3.167 - 704) \Rightarrow f_{fu,w}(R) = 1.213 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{fed} = f_{fbd} \left[1 - \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) \frac{l_{b,max} \cdot \sin \alpha}{2d_f} \right] + \frac{1}{2} [f_{fu,w}(R) - f_{fbd}] \left[1 - \frac{l_{b,max} \cdot \sin \alpha}{d_f} \right] \Rightarrow$$

$$\sigma_{fed} = 704 \left[1 - \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) \frac{119 \cdot 1}{2 \cdot 0,9 \cdot 312} \right] + \frac{1}{2} [1.213 - 704] \left[1 - \frac{119 \cdot 1}{0,9 \cdot 312} \right] \Rightarrow \sigma_{fed} = 796 \text{ N/mm}^2$$

$$0,004E_f = 0,004 \cdot 235.000 = 940 \text{ N/mm}^2 > 796 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,f} = 2 \cdot t_f \cdot d_f \cdot \sigma_{fed} \cdot \cot \theta = 2(2 \cdot 0,11)0,9 \cdot 312 \cdot 796 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$$V_{Rd,f} = 98,35 \text{ KN} > 76,18 \text{ KN}$$

Ακόμη και αν αγνοηθεί η προσφορά (21,48 KN), σε διάτμηση, των υπαρχόντων συνδετήρων, Φ8/25, S220, οι 2 στρώσεις την καλύπτουν. $76,18 + 21,48 = 97,67 \text{ KN} < 98,35 \text{ KN}$ που μας εξασφαλίζουν οι 2 στρώσεις.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι 2 στρώσεις μόνο καλύπτουν, σε διάτμηση, ότι προσφέρουν οι πυκνοί συνδετήρες Φ8/10, S400. Η περίσφιξη που υπολογίσαμε στο προηγούμενο τεύχος, με το προσομοίωμα 1, μας έδωσε 4 στρώσεις και στο παρόν, με το προσομοίωμα 2 (ΚΑΝ.ΕΠΕ) μας έδωσε 3 στρώσεις. Άρα η περίσφιξη για την αύξηση της πλαστιμότητας υπερκαλύπτει και τη διάτμηση που καλύπτουν οι πυκνοί συνδετήρες Φ8/10 S400.

Επαναλαμβάνουμε ότι:

Το πάχος του μανδύα των σύνθετων υλικών είναι το μέγιστο των παχών που απαιτούνται, για την εξασφάλιση: της απαιτούμενης γωνίας στροφής χορδής (ή πλαστιμότητας) της τέμνουσας σχεδιασμού, της καθυστέρησης λυγισμού των διαμήκων ράβδων και της αποφυγής αστοχίας σε περιοχές με ματήσεις (αν υπάρχουν). [Α. Τριανταφύλλου 2006].

Σχόλιο

Βλέπουμε λοιπόν ότι απαιτούνται 2 στρώσεις ανθρακούφασματος αντί μιας, που μας δίνουν οι σχέσεις του καθηγητή Κ. Σπυράκου.

Προκειμένου να καλύψουμε και τον παραπάνω περιορισμό της περίπτωσης, ανάπτυξης μεγάλου ανοίγματος ρωγμής και όχι μόνο, τασσόμεθα αναφανδόν με τη χρήση των σχέσεων που προτείνει ο καθηγητής Αθανάσιος Τριανταφύλλου.

Αύξηση θλιπτικής αντοχής του υποστύλωματος

Υποστύλωμα Κ1 35/35 ($b_p = d_p = r = 40 \text{ mm}$)

Συνδετήρες ομοίως Φ8/10, S400

Σύμφωνα με τα όσα προτείνει ο καθηγητής Κ. Σπυράκος στο ίδιο βιβλίο του

Το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό του οπλισμού περίσφιγξης για το τετραγωνικό υποστύλωμα δίδεται από τη σχέση:

$$\omega_{wd} = \frac{4A_{sw} f_{yd}}{s \cdot b_0 f_{cd}} \quad (\S 18.4.4.2 \text{ ΕΚΩΣ } 2000)$$

Το b_0 μετράται στα κέντρα των διαμήκων ράβδων.

$$b_0 = 35 - 2 \cdot 2 - 2 \cdot 0,8 - 2 \Rightarrow b_0 = 27,4$$

$$\omega_{wd} = \frac{4 \cdot 0,50}{10 \cdot 27,4} \cdot \frac{400 \cdot 1,5}{14 \cdot 1,15} \Rightarrow \omega_{wd} = 0,272$$

Η θλιπτική αντοχή f_c^* , του περισφιγμένου σκυροδέματος δίνεται από τις σχέσεις:

$$f_c^* = (1 + 2,5\alpha \cdot \omega_{wd})f_c \quad \alpha \cdot \omega_{wd} < 0,10$$

$$f_c^* = (1,125 + 1,25\alpha \cdot \omega_{wd})f_c \quad \alpha \cdot \omega_{wd} > 0,10$$

Όπου α είναι ο συντελεστής αποδοτικότητας της περισφιγξης που εξαρτάται από τη διάταξη και την απόσταση των συνδετήρων.

$$\alpha = \alpha_\eta \cdot \alpha_s = \left(1 - \frac{8}{3 \cdot \eta}\right) \left(1 - \frac{s'}{2 \cdot b_0}\right)^2 \Rightarrow \alpha = \left(1 - \frac{8}{3 \cdot 4}\right) \left(1 - \frac{9,2}{2 \cdot 27,4}\right)^2 \Rightarrow \alpha = 0,231$$

s' είναι η καθαρή ελεύθερη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων

$$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,231 \cdot 0,272 \Rightarrow \alpha \cdot \omega_{wd} = 0,0628 < 0,10$$

$$f_c^* = (1 + 2,5 \cdot 0,0628)f_c \Rightarrow f_c^* = 1,157f_c$$

Άρα με συνδετήρες Φ8/10 , S400 θα είχαμε αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος κατά 15,7 %

Για τους υπάρχοντες συνδετήρες Φ8/25 , S220 θα έχουμε:

$$\omega_{wd} = \frac{4 \cdot 0,50}{25 \cdot 27,4} \cdot \frac{220 \cdot 1,5}{14 \cdot 1,15} \Rightarrow \omega_{wd} = 0,0598$$

$$\alpha = \alpha_\eta \cdot \alpha_s = \left(1 - \frac{8}{3 \cdot \eta}\right) \left(1 - \frac{s'}{2 \cdot b_0}\right)^2 \Rightarrow \alpha = \left(1 - \frac{8}{3 \cdot 4}\right) \left(1 - \frac{24,2}{2 \cdot 27,4}\right)^2 \Rightarrow \alpha = 0,1039$$

Η μικρή διαφορά με την ευρεθείσα τιμή του α , ($\alpha=0,114$) στην υπολογισθείσα διαθέσιμη μ_ϕ του εν λόγω υποστυλώματος, στο προηγούμενο τεύχος, οφείλεται στο ότι εδώ πήραμε το b_0 στα κέντρα των διαμηκών ράβδων αντί των συνδετήρων και την απόσταση των συνδετήρων καθαρή αντί αξονική. Μικρή διαφορά έχουμε και στο ω_{wd} με τελική μικρή διαφορά στο $\alpha \cdot \omega_{wd}$.

$$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,1039 \cdot 0,0598 \Rightarrow \alpha \cdot \omega_{wd} = 0,00621 < 0,10$$

(αντί του 0,00617 που έχει ήδη υπολογισθεί, στο προηγούμενο τεύχος και δεν έχει καμία επίπτωση στο αποτέλεσμα της παρακάτω σχέσης μέχρι και την τάξη χιλιοστού. Αν στην παρακάτω σχέση αντί 0,00621 θέσουμε 0,00617 θα πάρουμε το ίδιο αποτέλεσμα 1,015)

$$f_c^* = (1 + 2,5 \cdot 0,00621) f_c \Rightarrow f_c^* = 1,015 f_c$$

Άρα με τους υπάρχοντες συνδετήρες, Φ8/25 S220, έχουμε αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μόνο κατά 1,5 % έναντι 15,7% των συνδετήρων Φ8/10 S400. Βλέπουμε το σημαντικό ρόλο των πυκνών συνδετήρων. Βέβαια εδώ έχουμε και διαφορετικό χάλυβα. Και με τον ίδιο χάλυβα όμως θα έχουμε σημαντική διαφορά. Συγκεκριμένα, με συνδετήρες Φ8/10 και S220 θα είχαμε αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος κατά 8,6% >>1,5%.

Αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος για τον μανδύα ΙΟΠ:

Το ογκομετρικό ποσοστό περίσφιγξης του σκυροδέματος, για το μανδύα με 4 στρώσεις FRP ανθρακονημάτων είναι:

$$\rho_{sj} = 2 \cdot \eta \cdot t_j (b+d) / (b \cdot d) = 2 \cdot 4 \cdot 0,011 (35+35) / (35 \cdot 35) \Rightarrow \rho_{sj} = 0,005$$

$$f_c^* = f_c (1 + 1,5 \rho_{sj}) = (1 + 1,5 \cdot 0,005) f_c \Rightarrow f_c^* = 1,008 f_c$$

Άρα με τις 4 στρώσεις του μανδύα ανθρακονημάτων, η αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος είναι μόνο 0,8 % (πάρα πολύ μικρή).

Επομένως η συνολική αύξηση που παρέχεται στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, από τους υπάρχοντες συνδετήρες και τις 4 στρώσεις του μανδύα είναι:

$$1,015 \cdot 1,008 f_c = 1,023 f_c \text{ δηλαδή μόνο } 2,3 \% \text{ έναντι } 15,7 \%$$

Σχόλιο

Βλέπουμε το σημαντικό ρόλο των πυκνών συνδετήρων, αύξηση θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος 15,7 %, αλλά εκείνο που θέλαμε να δούμε είναι η προσφορά του μανδύα από ΙΟΠ η οποία στη διάτμηση, όπως ήδη προείπαμε, είναι σημαντική. Τα αποτελέσματα όμως για την αύξηση της θλιπτικής αντοχής είναι τόσο χαμηλά που δεν μπορούμε να τα αποδεχτούμε. Με μανδύα από 4 στρώσεις του εν λόγω ανθρακοϋφάσματος ($t_{f0} = 0,11 \text{ mm}$, $f_f = 3800 \text{ MPa}$, $E_f = 235 \text{ GPa}$, $\varepsilon_{fib} = 1,5\%$) θα περιμέναμε πάρα πολύ μεγάλη αύξηση της θλιπτικής αντοχής και όχι μόνο 0,8 %. Οι σχέσεις υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από το βιβλίο του καθηγητή Κ. Σπυράκου, Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία (2004, το οποίο διένειμε το ΤΕΕ στα μέλη του. Στο εν λόγω βιβλίο υπάρχει

ανάλογος υπολογισμός, σε παρεμφερές παράδειγμα και σχόλιο του συγγραφέα. Επειδή η αύξηση της θλιπτικής αντοχής είναι και εκεί πολύ μικρή, σύμφωνα με τις συγκεκριμένες σχέσεις υπολογισμού, αναφέρεται παρακάτω, για το πόσες στρώσεις απαιτούνται προκειμένου να επιτευχθεί αύξηση της f_c κατά 20 % κ.λπ.

Ο καθηγητής Κ. Σπυράκος αναφέρει:

«Είναι χαρακτηριστικό ότι για να επιτευχθεί μία τέτοια αύξηση, απαιτούνται είτε δέκα στρώσεις μανδύα υαλονημάτων είτε δεκαέξι στρώσεις μανδύα ανθρακονημάτων. Επειδή ο παραπάνω αριθμός στρώσεων είναι μη ρεαλιστικός, στην πράξη δεν θα επιδιώκαμε να επιτύχουμε τόσο μεγάλη αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με μανδύα ινοπλισμένων πολυμερών». (Κ. Σπυράκος 2004).

Είμαστε υποχρεωμένοι να διαφωνήσουμε με όσα αναφέρει ο συγγραφέας, για το συγκεκριμένο ζήτημα της αύξησης της θλιπτικής αντοχής με μανδύες από ΙΟΠ.

Προκειμένου να ξεκαθαρίσουμε όμως αυτή την παραδοξότητα, για μας, θα υπολογίσουμε την αύξηση της θλιπτικής αντοχής λόγω περίσφιγξης με μανδύα ΙΟΠ και με τις σχέσεις που περιέχονται στο βιβλίο (ηλεκτρονική μορφή) του καθηγητή Αθανάσιου Τριανταφύλλου (2006)



Προσεγγιστική κατανομή μέσω των τάσεων περίσφιγξης σε κάθε πλευρά ορθογωνικής διατομής. (Α. Τριανταφύλλου 2006)

$$f_{ccd} = f_{cd} \left[1 + k_1 \left(\frac{\sigma_{lud}}{f_{cd}} \right)^m \right], \quad \sigma_{lud} = \alpha_f \frac{(b+d)}{bd} t_f \cdot f_{sle}$$

α_f : είναι ο γνωστός συντελεστής αποδοτικότητας α , που έχει ήδη υπολογιστεί στο προηγούμενο τεύχος από τη σχέση: $\alpha = 0,4 + 1,2 \frac{r}{D}$
 $= 0,4 + 1,2 \frac{0,04}{0,35} \Rightarrow \alpha = 0,5371$

Οι τιμές των συντελεστών k_1 , m κτλ. αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Στις παραπάνω σχέσεις σ_{lud} είναι η μέση τάση περίσφιγξης (κατά τη θραύση του μανδύα).

Στις ευρέως αποδεκτές (στη διεθνή βιβλιογραφία) τιμές για τις εμπειρικές σταθερές των εξισώσεων περιλαμβάνονται οι εξής: $k_1 = 2,15$, $m = 1$, $k_2 = 0,02$ ή $0,04$ για υλικά ινών άνθρακα ή γυαλιού, αντίστοιχα, και $n = 1$. Εναλλακτικά, $k_1 = 2,60$, $m = 2/3$, $k_2 = 0,015$ (ανεξαρτήτως του τύπου ινών) και $\eta = 0,50$ (όπως στον πίνακα). Σημειώνεται ότι η οριακή παραμόρφωση του απερίσφιγκτου σκυροδέματος λαμβάνεται ίση με $\varepsilon_{cu} = 0,0035$.

Πίνακας: Τιμές εμπειρικών σταθερών που είναι περισσότερο αποδεκτές

Εμπειρικές σταθερές	Ίνες άνθρακα	Ίνες γυαλιού	Ανεξαρτήτως τύπου ινών
k_1	2.15	2.15	2.60
k_2	0.02	0.04	0.015
m	1	1	2/3
n	1	1	0.50

Δεν θα εφαρμόσουμε τιμές σχεδιασμού, για το σπλισμένο σκυρόδεμα, προκειμένου να γίνει σύγκριση με το προηγούμενο αποτέλεσμα.

$$\sigma_{lud} = \alpha_f \frac{(b+d)}{bd} t_{f0} \cdot f_{ste} \Rightarrow \sigma_{lud} = 0,5371 \frac{35+35}{35 \cdot 35} 0,011 \cdot 3.800 \cdot 0,9 = 1,1546$$

$$f_{cc} = f_c \left[1 + k_1 \left(\frac{\sigma_{lud}}{f_c} \right)^m \right] \Rightarrow f_{cc} = f_c \left[1 + 2,15 \left(\frac{1,1546}{14} \right)^1 \right] \Rightarrow f_{cc} \equiv f_c^* = 1,177 f_c$$

Ήτοι 17,7%

Σε αυτό μπορεί να προστεθεί και το 1,5% που προσφέρουν οι υπάρχοντες συνδετήρες αλλά είναι ασήμαντο.

Σχόλιο

Βλέπουμε ότι και με μία στρώση του μανδύα ανθρακονημάτων υπερκαλύπτεται (χωρίς καν την προσφορά των υπάρχοντων συνδετήρων) η αύξηση της θλιπτικής αντοχής (15,7%) που προσφέρουν οι συνδετήρες Φ8/10, S400. Οι δε τέσσερις στρώσεις μας δίνουν αύξηση: $f_c^* = (1 + 4 \cdot 0,177)f_c = 1,708f_c$, ήτοι 70,8%, αφού στις παραπάνω σχέσεις υπάρχει ευθεία αναλογία του αριθμού των στρώσεων με την αύξηση της θλιπτικής αντοχής.

Παρατηρώντας όμως καλύτερα τις σχέσεις που χρησιμοποιεί ο καθηγητής Κ. Σπυράκος στο βιβλίο του, δείχνουν ότι κάτι τους λείπει. Δεν βλέπουμε να υπεισέρχεται πουθενά η εφελκυστική αντοχή του ΙΟΠ ή το μέτρο ελαστικότητας και η παραμόρφωση. Καταλήγουμε λοιπόν στο αντίθετο συμπέρασμα από αυτό του πρώτου συγγραφέα, καθηγητή Κ. Σπυράκου.

Μετά τα παραπάνω συμπεραίνουμε αβίαστα ότι: η περίσφιγξη των υποστρωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος, με μανδύα από ΙΟΠ, προσδίδει μεγάλη αύξηση στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος.

Θα συνεχίσουμε, στο επόμενο τεύχος, με παραδείγματα περίσφιξης των ίδιων υποστρωμάτων, αλλά με μεταλλικούς κλωβούς και με δύο μεθόδους (ΕΚΩΣ 2000 και ΚΑΝ.ΕΠΕ).

Στη διάθεση όλων των συναδέλφων και οιοδήποτε θέλει πιθανόν, κάποιες διευκρινήσεις ή παρατηρήσεις. Τηλ. 6945409591, Email: baikousisi@yahoo.gr

Επαναλαμβάνουμε εδώ ότι συμβολισμοί και βιβλιογραφία υπάρχουν στο προηγούμενο 4ο τεύχος e-Δοκός.